第28卷　第3期　腐蚀科学与防护技术　Vol.28　No.3
2016年5月　CORROSION SCIENCE AND PROTECTION TECHNOLOGY　May　2016

经验交流

城市供水用大口径钢质顶管的腐蚀防护技术

汪洪涛[1]　魏英华[2]

1. 上海城投水务工程项目管理有限公司 上海 201103;
2. 中国科学院金属研究所 沈阳 110016

摘要:采用大口径钢质顶管是解决上海城市供水的基本措施,顶管实施工艺使得腐蚀防护面临诸多难题。防护涂层要保证在钢管顶进过程中涂层破坏小,在非开挖的条件下需提供牺牲阳极安装条件。研发的高性能涂层加牺牲镁阳极阴极保护联合防护方式经现场试验能满足腐蚀防护需要。当前全线钢顶管采用高性能防护涂层,现场测试发现存在杂散电流,应尽早实施阴极保护抑制顶管腐蚀。

关键词:顶管　腐蚀　防护　大口径

中图分类号:TG172　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1002-6495(2016)03-0288-03

1 前言

上海市是我国规模最大的城市,供水问题尤为突出。在城区建设大口径长距离管道,要途经道路、铁路、河流、街道闹市或建筑物等。由于地表和地下的建筑很多,传统的开挖施工不允许,采用非开挖埋设管线技术成为主要施工方式。顶管施工是一种不开挖的管道架设技术,沿管线间隔一定距离开挖工作坑,借助顶进设备产生推进力,将管道按照设计坡度顶入土壤中。上海青草沙原水工程是创建国家环保城市的重要项目,是上海市委、市政府"十一五"重点工程。陆域输水管线采用大口径钢质顶管建设。

近年来欧美等发达国家基础建设工程规格小、数量少,钢顶管施工技术国外很少应用,无成熟配套的顶管防腐技术供借鉴,我国需自主研发该项技术。该项技术安全性、可靠性要求高,因为大口径顶管管线埋地通常较深,管道外腐蚀修补极难。如果施工和运行期间因为腐蚀带来安全问题将对高密度城市地区带来严重灾害。因此,必须研究与之相配套的腐蚀控制技术,并建立相应的设计和施工方法及配套标准。本文以青草沙原水工程为背景,论述大口径城市输水顶管管线的腐蚀防护技术方案,探讨该方案的技术难点及解决方法,为我国自主研发大口径钢顶管的腐蚀防护技术提供工程经验。

2 顶管施工管道腐蚀防护技术难点

青草沙环境调查显示,埋管处土壤电阻率大多小于10 Ω·m,腐蚀性较强。青草沙原水工程设计的钢质管线的服役寿命要求达50 a,解决管道耐久性采用"涂层+阴极保护"联合保护方案。但是顶管工程中区别于以往的施工方法给"涂层+阴极保护"带来了很多难题。例如,如何保证在长距离顶进过程中钢管外壁涂层损伤小,在非开挖的条件下如何安装阳极等。

对于涂层防护,管道的外表面在顶进过程中会承受地层土壤砂石的压迫力和强摩擦力,要求涂层具有很好的耐土壤砂石划伤及磨损的特性。另一方面,顶管施工中每一节管道焊接部位需要进行补口腐蚀防护,补口处涂层性能也必须满足顶管要求。

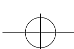
对于顶管结构的阴极保护,科技人员会想到利用工作井作为阳极的馈电点,而且首先想到用强制电流法。但是,用强制电流方法在上海地区不适合,因为管线所经地下结构复杂,强制电流会造成干扰,因此需要采用牺牲阳极方法。本工程平均单次顶进距离为800 m,最长达1960 m。牺牲阳极的保护距离较小,仅仅在工作井处安装牺牲阳极无法满足保护距离的要求,而顶管施工过程中没有以往开挖施工时跟随埋管过程安放牺牲阳极的空间,且开挖埋设也不符合顶管施工要求。必须寻求在非开挖情况下安装牺牲阳极的方法。

3 顶管施工管道腐蚀防护方案研究

3.1 涂层防护

考虑到青草沙顶管处地下地质多数为淤泥质粘土、粉沙,还考虑到本区硫酸盐浓度高以及泥下区土壤理化特性复杂,涂层必须具备抗渗透、抗冲击、耐磨损、抗污损、抗化学侵入的要求。按照SY/T 0315-2005《钢质管道熔结环氧粉末外涂层技术标准》和

定稿日期:2016-04-20
作者简介:汪洪涛,男,1960年生,高级工程师
通讯作者:魏英华,E-mail:yhwei@imr.ac.cn,研究方向为金属腐蚀与防护
DOI:10.11903/1002.6495.2016.033



GB/T 18593-2010《熔融结合环氧粉末涂料的防腐蚀涂装的标准》，设计了重腐蚀防腐涂层。其中钢管节采用耐磨耐蚀单层环氧粉末涂层，涂层厚度≥400 μm；曲线顶进管节涂层按照Q/CNPC 38-2002《埋地钢质管道双层熔结环氧粉末外涂层技术规范》采用加强级双层环氧涂层，底层厚度≥300 μm，面层厚度≥500 μm，总厚度≥800 μm。焊接口中继间采用能与原涂层紧密结合的双组分高分子复合涂料，补口区与修补区域的涂层厚度为原涂层的1.5倍，与原涂层搭接的长度不小于100 mm。注浆孔封堵采用厚浆型的环氧树脂。采用的涂层系统经过长达1000 m的顶管试验后，涂层只有微小减薄、无脱落，成为青草沙工程顶管选择的涂层体系。

3.2 阴极保护

3.2.1 阴极保护距离计算　顶管施工的非开挖方式导致安装牺牲阳极困难，必须计算牺牲阳极对钢管的最大保护距离，从而确定牺牲阳极的安装位置。根据高性能涂层的特点，认为在长期服役后高性能涂层仍然能保持较高保护效率。据此前提，采用文献[1]提出的斜率法估算上海青草沙埋地输水管线阴极保护距离。先计算牺牲阳极接触电阻 R_a，然后依据式 (1) 计算斜率 ψ

$$\psi = \frac{\alpha \cdot \gamma}{2 \cdot \pi \cdot r_p \cdot L_{AS} \cdot \left(R_a + \frac{L_{AS} \cdot R_m}{8} \right)} \tag{1}$$

其中，r_p 为管道半径，$\gamma=1/f_c$，f_c 为涂层破损率，α 为极化电阻，L_{AS} 为牺牲阳极间距，R_a 为一个电流接入点的接地电阻，R_m 为管线的电阻

获得斜率后，依据式 (2) 求保护电位 Φ_c，

$$\Phi_c = \frac{\Phi_{corr} + (\Phi_a \cdot \psi)}{1+\psi} \tag{2}$$

其中，Φ_c 和 Φ_a 分别是管道的保护电位和牺牲阳极的闭路电位，Φ_{corr} 是钢管桩的腐蚀电位。

经计算，获得的结果见图1。计算结果表明，对于青草沙原水工程管线，当涂层破损率为3%时，采用镁阳极，牺牲阳极的最大保护距离约为240 m。但是，对于长距离的顶管，两个工作井之间的距离达1000 m。如果仅以工作井作为馈电点进行牺牲阳极的阴极保护，则只能保护牺牲阳极附近的管道，而距离远的管道无法得到充分的保护。如果需要保护则必须在管道被保护的区域增加馈电点。但是顶管的实施是在地下穿越完成的，无法预先焊接电缆用以馈电，即使提前焊接电缆也会在顶管运行过程中脱落，且馈电电缆无法引出到地表用来连接牺牲阳极。本课题在考证顶管的特点基础上，提出了新型

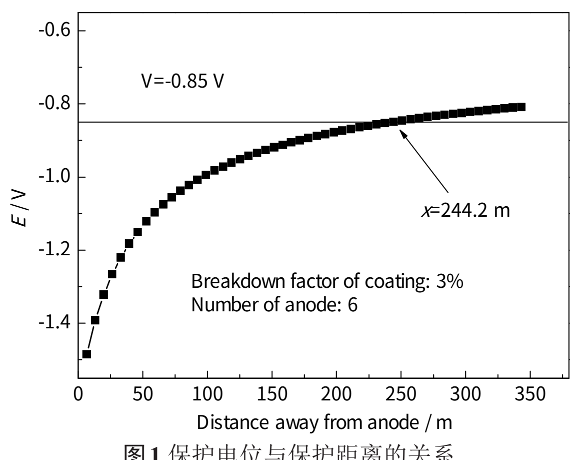


图1 保护电位与保护距离的关系

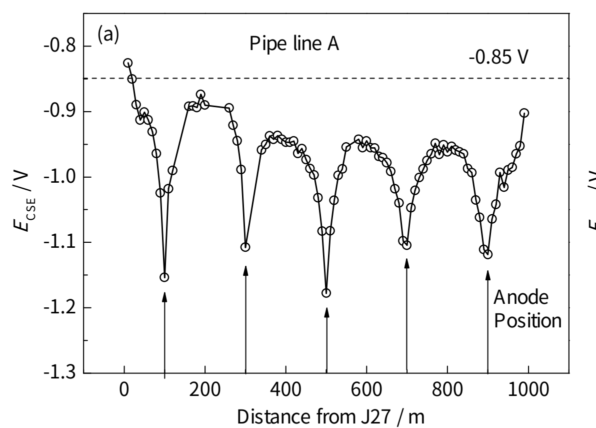
牺牲阳极馈电安装方式。

3.2.2 长距离顶管牺牲阳极安装方法　从管道内部进行牺牲阳极安装可以在管线上任意选择馈电点，但该种方法只适用于口径足够大的顶管，保证有足够的施工空间[2,3]。首先，从顶管内进行带压开孔，开孔后开始顶杆操作，顶杆采用顶杆机从内向外将钢管的节段顶出。顶杆顶出地面后，向管道方向即地下回拉阴极保护装置。

从顶管管道外部进行牺牲阳极安装可以依据地表状态选择阴极保护馈电点，这种方法不会对管道造成损害，对于管道的直径没有要求[4]。该方法主要的问题是如何在具有泥水的深埋地管道环境中焊接馈电电缆。经实验研究，最终采取“管外定点地面钻井+遥控焊接”的方法建立馈电，即遥控焊接装置将焊接用钢头送入到管道外壁，进行遥控焊接，焊接钢头后的馈电电缆留在地表，并以此为基础安装牺牲阳极。焊接后测量电导和焊接强度，以保证满足要求。该方法只在地表钻一个直径有限的孔，避免了采用开挖方式对地表设施的破坏。

3.2.3 现场验证　选择严桥支线26#~27#工作井间的钢质顶管为试验段，该管线为双线管，标记为A、B管。首先进行定位，阳极馈电点位于被保护管道正上方，经探测后选择开孔点。将自行研制的遥控焊接装备沿馈电孔送入管道上。根据预先设计的焊接参数进行焊接，焊接时严格控制焊接电流，以防焊点过深。焊接完毕检查焊接强度和电连接，对焊接点进行灌封以保护焊点。现场安装镁阳极组，间距200 m，交叉布置。

在连接牺牲阳极之前，测量管道的自然电位。在J27~J26段牺牲阳极安装完成后，极化36 h，测量全段的保护电位、阳极发射电流。图2给出了安装阴极保护系统后的保护电位分布图，阳极埋设点以箭头标识出。从中看出：



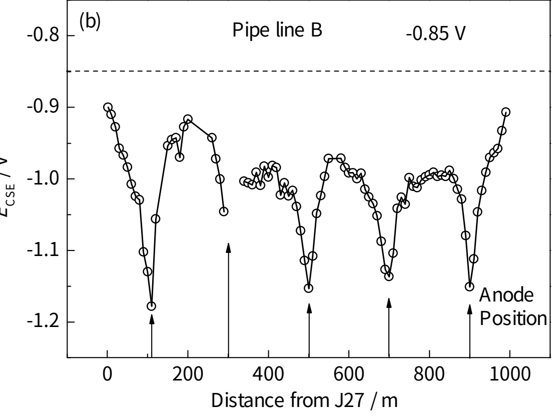


图2 管线保护电位分布. (a) A管, (b) B管

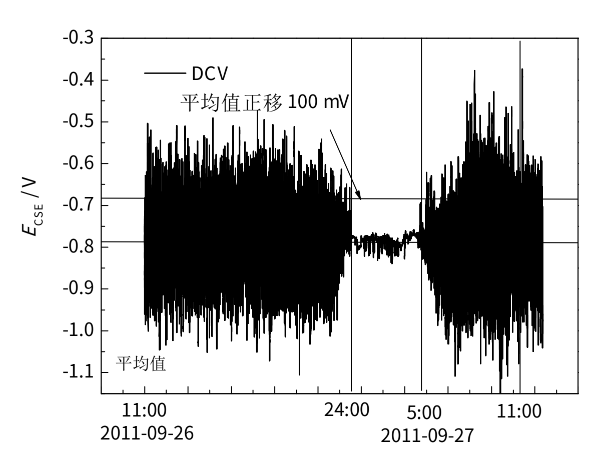


图3 青草沙穿越地铁输水管线杂散电流监测结果

(1) 以镁合金阳极为牺牲阳极、采用当前的阴极保护设计方式，间隔200米能够使得保护电位达到要求，至少极化了100 mV。

(2) 牺牲阳极通电点处的极化到-1.1 V左右，对涂层损伤很小，和涂层系统是兼容的。

(3) 钢顶管在当前的环境下极化较快，在36 h后保护电位达到要求。

以上的现场验证结果也说明目前采用的牺牲阳极阴极保护设计对当前顶管设计是合理的。

4 杂散电流的监测

上海地区地下构筑物复杂，易产生杂散电流。选择穿越地铁顶管输水管线考核杂散电流，在祖冲之路与申江路交汇处顶管管线，地铁位于管线上方，地铁在日间运行的频率是4.5 min/次，管线杂散电流测量结果见图3。从中看出，地铁列车停止运行期间，管线所受直流干扰很低，在地铁运行期间，管道受到直流杂散电流的干扰，干扰强度超过了100 mV。

5 结论

研发的新型高性能涂层加阴极保护联合防护技术可以解决非开挖施工的大口径钢质顶管管线腐蚀问题，该技术包括提高防护涂层经顶管过程后的防护效率，解决由于顶管施工使得传统阴极保护方式无法实施的难题。

涂层采用耐磨损、耐划伤和抗渗透性优异的高性能环氧涂层系列，阴极保护实施方式采用管内和管外两种方法。管外采用地表微创钻孔、遥控焊接、深埋牺牲阳极的方式实现阴极保护系统的安装。采用估算和试验相结合的方式确定在青草沙地质环境下，直径3.6 m的顶管管线的有效保护距离为200 m。

青草沙已施工的顶管管线已经采用了高性能的防护涂层，而阴极保护还没有全面实施。管道当前面临着各类腐蚀介质和杂散电流的危害，采用阴极保护能有效缓解环境对管道的腐蚀损伤，应尽快全面实施阴极保护。

参考文献

[1] Bethune K, Hartt W H. Applicability of the slope parameter method to the design of cathodic protection systems for marine pipelines [J]. Corrosion-Houston, 2001, 57(1): 78

[2] 汪洪涛, 李京, 胡宏良等. 非开挖施工大口径管道腐蚀控制检测用馈电装置 [P].中国: 200910188087.9, 2011

[3] 汪洪涛, 李京, 胡宏良等. 管道外壁防腐蚀阴极保护装置及其填包料的施工安装方法 [P]. 中国: 200910188083.0, 2011

[4] 魏英华, 李京, 刘阳等. 地下管道系统用馈电装置施工方法 [P]. 中国: 2012104084596, 2014

